

OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE

Patent Number: JP2001051139
Publication date: 2001-02-23
Inventor(s): HATAYAMA HITOSHI; SASAOKA HIDEYORI
Applicant(s): SUMITOMO ELECTRIC IND LTD
Requested Patent: ☐ JP2001051139
Application Number: JP19990228641 19990812
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B6/12; G02B27/28
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide device with reduced the polarization dependency of the optical characteristic by the stress added to the core part of the optical guide path, and simplified in its structure and manufacturing process.

SOLUTION: In an array waveguide diffraction grating type optical composer and divider 1 that is one example of the optical circuit by this waveguide device, an array waveguide part 14 is divided into a first array part 14a having each channel waveguide formed with a core width W and a second array part 14b having each channel waveguide formed with a core width W2 different from W1. The respective core part shapes (core widths W1 and W2) of the two array parts 14a and 14b and the dividing area of each array part are properly set, whereby the polarization dependency by structure in the array waveguide part 14 can be set, particularly so as to compensate or reduce the polarization dependency by stress.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-51139

(P2001-51139A)

(43) 公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マコード* (参考)

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

F 2 H 0 4 7

27/28

27/28

Z 2 H 0 9 9

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平11-228641

(22) 出願日

平成11年8月12日 (1999.8.12)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 畑山 均

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 笹岡 英資

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA04 KA12 KB04 LA18

LA19 TA00

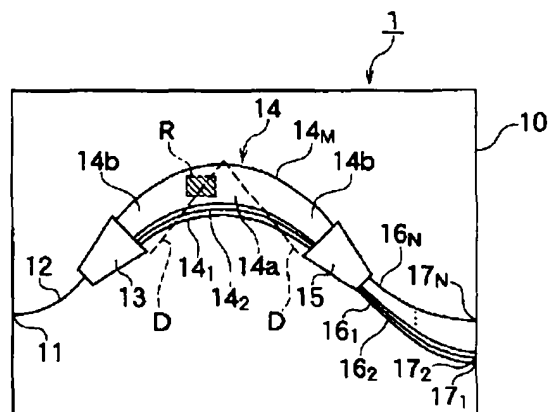
2H099 BA17 CA00 CA17 DA00

(54) 【発明の名称】 光導波路装置

(57) 【要約】

【課題】 光導波路のコア部にかかる応力による光学特性の偏波依存性を低減するとともに、その構造及び製造工程が簡単化された光導波路装置を提供する。

【解決手段】 光導波路装置による光回路の一例であるアレイ導波路回折格子型光合分波器1のアレイ導波路部14を、各チャネル導波路がコア幅W1で形成されている第1アレイ部14aと、各チャネル導波路がW1とは異なるコア幅W2で形成されている第2アレイ部14bとに区分する。これら2つのアレイ部14a及び14bでのそれぞれのコア部形状(コア幅W1及びW2)と、各アレイ部の区分領域との設定によって、このアレイ導波路部14での構造による偏波依存性を設定することができ、特に、応力による偏波依存性を補償または低減する設定とすることが可能である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、前記基板上に所定の導波路パターンで形成された光導波路と、を有する光導波路装置であって、

前記光導波路の一部または全部のコア部は、前記コア部の構造に起因した構造複屈折を生じさせる非対称形状で形成されるとともに、

前記コア部の前記非対称形状は、前記コア部の応力に起因した応力複屈折によって生じる光学特性の偏波依存性を補償または低減する前記構造複屈折を生じさせる形状に形成されていることを特徴とする光導波路装置。

【請求項2】 前記コア部の前記非対称形状は、そのコア幅がコア厚より大きいまたは小さい幅となる形状に形成されていることを特徴とする請求項1記載の光導波路装置。

【請求項3】 前記光導波路は、その光導波の方向について分けられた複数の導波路部分を有して構成され、前記複数の導波路部分の前記コア部は、それぞれ異なる形状を有するとともに少なくとも1つは非対称形状に形成されていることを特徴とする請求項1または2記載の光導波路装置。

【請求項4】 前記光導波路は、アレイ導波路回折格子型光合分波器を構成する前記導波路パターンによって前記基板上に形成され、

前記アレイ導波路回折格子型光合分波器のアレイ導波路部において、

前記アレイ導波路部を構成する複数のチャネル導波路それぞれは、前記コア部がそれぞれ異なるコア幅で形成された複数の前記導波路部分を有して形成されていることを特徴とする請求項3記載の光導波路装置。

【請求項5】 前記複数のチャネル導波路それぞれは、前記コア部がそれぞれ異なるコア幅で形成された第1の導波路部分及び第2の導波路部分を有して形成されるとともに、

前記アレイ導波路回折格子型光合分波器の中心波長を λ_0 、前記中心波長の前記偏波依存性による偏波依存波長シフトを $PD\lambda_0$ 、回折次数を m とし、前記第1の導波路部分及び前記第2の導波路部分について、実効屈折率を n_1 及び n_2 、隣り合うチャネル導波路の光路長さの差を ΔL_1 及び ΔL_2 、複屈折係数を B_1 及び B_2 として、次の2つの関係式

$$n_1 \cdot \Delta L_1 + n_2 \cdot \Delta L_2 = m \cdot \lambda_0$$

$$B_1 \cdot \Delta L_1 + B_2 \cdot \Delta L_2 = m \cdot PD\lambda_0$$

を連立させて前記偏波依存波長シフト $PD\lambda_0$ が補償・低減されるように求められた条件によって、前記アレイ導波路部が形成されていることを特徴とする請求項4記載の光導波路装置。

【請求項6】 前記光導波路は、マッハ・ツェンダー干渉計を構成する前記導波路パターンによって前記基板上に形成され、

前記マッハ・ツェンダー干渉計の位相調整部において、前記位相調整部を構成する2本の光導波路それぞれの互いに対応する前記導波路部分は、前記コア部が互いに異なるコア幅で形成されていることを特徴とする請求項3記載の光導波路装置。

【請求項7】 前記2本の光導波路は、前記コア部が互いに異なるコア幅で形成された、一方の前記光導波路に含まれる第1の導波路部分と、他方の前記光導波路に含まれる前記第1の導波路部分に対応する第2の導波路部分と、を有して形成されるとともに、

前記マッハ・ツェンダー干渉計のピーク波長を λ_p 、前記ピーク波長の前記偏波依存性による偏波依存波長シフトを $PD\lambda_p$ 、次数を m とし、前記第1の導波路部分及び前記第2の導波路部分について、実効屈折率を n_1 及び n_2 、光路長さを L_1 及び L_2 、複屈折係数を B_1 及び B_2 として、次の2つの関係式

$$n_1 \cdot L_1 - n_2 \cdot L_2 = m \cdot \lambda_p$$

$$B_1 \cdot L_1 - B_2 \cdot L_2 = m \cdot PD\lambda_p$$

を連立させて前記偏波依存波長シフト $PD\lambda_p$ が補償・低減されるように求められた条件によって、前記位相調整部が形成されていることを特徴とする請求項6記載の光導波路装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路が所定パターンに形成された光導波路装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信技術等の進展と利用の拡大に伴い、従来の発光器、光ファイバ、受光器などに加えて、平面型光導波路を用いて光分岐器、光合分波器等の光回路を形成した光導波路装置の開発と利用が進められている。

【0003】このような光回路は、例えば、光ファイバ線路に多波長の信号光（波長の異なる複数の信号光）を送達させることにより高速・大容量の光通信を行う波長分割多重方式（WDM: Wavelength Division Multiplexing）による波長多重通信システム等において用いられる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】光導波路装置は、コア部を有する平面型の光導波路を基板上に所定の光回路形状などの導波路パターンで形成することによって作製されるが、このとき、基板に生じる反りなどの変形によって光導波路、特にそのコア部に応力（圧縮応力または引っ張り応力）がかかってしまう。また、台座やホルダー等に光導波路装置を固定・実装して光導波路モジュールを構成するときなどにも、光導波路に応力が発生する場合がある。これらの原因によって光導波路内に応力を生じた場合、応力に起因する光導波路装置の光学特性の変化が問題となる。

【0005】例えば、通常の状態では光学的に等方性を有する材料で光導波路のコア部を形成した場合においても、基板の反り等の変形で光導波路に応力がかかることによってコア部内に複屈折性を生じ、それによってTE偏波とTM偏波とに対する実効的な屈折率が異なるものとなって、光学特性の偏波依存性が発生・増大してしまうという問題を生じる。この場合、TE偏波とTM偏波とでWDM回路の中心波長などの光回路の特性波長のずれである偏波依存波長シフトPD λ (Polarization Dependent λ)を生じてしまう。

【0006】このような問題に対して、特許第2614365号公報において、光導波路の所定の位置に偏波回転器を設置することによって光導波路の途中で偏波状態を回転・変換して、どの偏波状態の入力光に対しても光路長が等しくなるように構成する導波型光デバイスが開示されている。しかしながら、上記のように偏波回転器を新たに設置する構成とした場合には、光導波路装置が複雑化し、製造コストも高くなってしまふなどの問題がある。

【0007】本発明は、以上の問題点に鑑みてなされたものであり、光導波路のコア部にかかる応力に起因する光学特性の偏波依存性を低減するとともに、その構造及び製造工程が簡単化された光導波路装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本願発明者は、上記した目的を達成するために鋭意検討を重ねた結果、光学特性の偏波依存性は、応力に起因した応力複屈折に加えて、光導波路のコア部の非対称形状などの構造に起因した構造複屈折によっても生じることを利用し、この構造複屈折を好適に設定・制御することによって応力複屈折による偏波依存性を補償または低減させることが可能であることを見出した。

【0009】すなわち、本発明による光導波路装置は、基板と、基板上に所定の導波路パターンで形成された光導波路と、を有する光導波路装置であって、光導波路の一部または全部のコア部は、コア部の構造に起因した構造複屈折を生じさせる非対称形状で形成されるとともに、コア部の非対称形状は、コア部の応力に起因した応力複屈折によって生じる光学特性の偏波依存性を補償または低減する構造複屈折を生じさせる形状に形成されていることを特徴とする。

【0010】コア部における構造複屈折は、コア部の非対称形状、すなわちコア断面形状の非対称性（一般には正方形からずれた）や屈折率分布の非対称性、によって発生されるが、この構造複屈折は、コア部の非対称形状の設定等によって符号や値を制御することが可能である。したがって、例えばあらかじめ知られている応力複屈折による偏波依存性に対し、上記のように構造複屈折による偏波依存性が応力複屈折による偏波依存性の一部

または全部を補償して、特性波長の偏波依存波長シフトなどの偏波依存性を低減させるようにコア部の非対称形状を設定して光導波路を形成することが可能である。

【0011】この場合、光回路に偏波回転器などの新たな要素を設置・挿入等する必要がないので、装置構造の複雑化が回避されて、製造工程が簡単化されるとともに低コスト化が実現される。

【0012】上記したコア部形状の設定については、例えば、コア部の非対称形状は、そのコア幅がコア厚より大きいまたは小さい幅となる形状に形成されていることを特徴とすることが好ましい。

【0013】コア幅とコア厚とを異なる値としてコア断面形状を正方形からずれた形状とすることにより、例えば、縦長または横長の設定によって構造による偏波依存性の符号を、コア幅及びコア厚の差の大きさによって偏波依存性の大きさを設定することができる。

【0014】また、光導波路は、その光導波の方向について分けられた複数の導波路部分を有して構成され、複数の導波路部分のコア部は、それぞれ異なる形状を有するとともに少なくとも1つは非対称形状に形成されていることを特徴とすることが好ましい。

【0015】光導波路を複数の導波路部分に区分して、それぞれに対して異なる形状を設定する構成とすることによって、それぞれの部分におけるコア部形状の設定と、各部分の区分設定とによって構造による偏波依存性を設定・制御することが可能であり、設定の自由度等をより高くすることができる。

【0016】上記した光導波路装置の光回路への適用の一例としては、光導波路は、アレイ導波路回折格子型光合分波器を構成する導波路パターンによって基板上に形成され、アレイ導波路回折格子型光合分波器のアレイ導波路部において、アレイ導波路部を構成する複数のチャネル導波路それぞれは、コア部がそれぞれ異なるコア幅で形成された複数の導波路部分を有して形成されていることを特徴とするものがある。

【0017】このアレイ導波路回折格子型光合分波器での設定については、より具体的には、複数のチャネル導波路それぞれは、コア部がそれぞれ異なるコア幅で形成された第1の導波路部分及び第2の導波路部分を有して形成されるとともに、アレイ導波路回折格子型光合分波器の中心波長を λ_0 、中心波長の偏波依存性による偏波依存波長シフトをPD λ_0 、回折次数を m とし、第1の導波路部分及び第2の導波路部分について、実効屈折率を n_1 及び n_2 、隣り合うチャネル導波路の光路長さの差を ΔL_1 及び ΔL_2 、複屈折係数を B_1 及び B_2 として、次の2つの関係式

$$n_1 \cdot \Delta L_1 + n_2 \cdot \Delta L_2 = m \cdot \lambda_0$$

$$B_1 \cdot \Delta L_1 + B_2 \cdot \Delta L_2 = m \cdot \text{PD} \lambda_0$$

を連立させて偏波依存波長シフトPD λ_0 が補償・低減されるように求められた条件によって、アレイ導波路部

が形成されていることを特徴とすることが好ましい。

【0018】アレイ導波路部のチャネル導波路それぞれを、コア幅 $W1$ の導波路部分とコア幅 $W2$ （ただし $W2 \neq W1$ 、 $W1$ 、 $W2$ の少なくとも一方はコア厚と異なる）の導波路部分とに区分して、その形状及び光路長さ等の条件を上記した2つの関係式によって求める方法などによって設定して、偏波依存性を低減するように構成することが可能である。ただし、アレイ導波路回折格子型光合分波器においても、上記以外の様々な光導波路構成及び条件設定方法が適用可能である。

【0019】また、光導波路装置の光回路への適用の他の例としては、光導波路は、マッハ・ツェンダー干渉計を構成する導波路パターンによって基板上に形成され、マッハ・ツェンダー干渉計の位相調整部において、位相調整部を構成する2本の光導波路それぞれの互いに対応する導波路部分は、コア部が互いに異なるコア幅で形成されていることを特徴とするものがある。

【0020】このマッハ・ツェンダー干渉計での設定については、より具体的には、2本の光導波路は、コア部が互いに異なるコア幅で形成された、一方の光導波路に含まれる第1の導波路部分と、他方の光導波路に含まれる第1の導波路部分に対応する第2の導波路部分と、を有して形成されるとともに、マッハ・ツェンダー干渉計のピーク波長を λ_p 、ピーク波長の偏波依存性による偏波依存波長シフトを $PD\lambda_p$ 、次数を m とし、第1の導波路部分及び第2の導波路部分について、実効屈折率を $n1$ 及び $n2$ 、光路長さを $L1$ 及び $L2$ 、複屈折係数を $B1$ 及び $B2$ として、次の2つの関係式

$$n1 \cdot L1 - n2 \cdot L2 = m \cdot \lambda_p$$

$$B1 \cdot L1 - B2 \cdot L2 = m \cdot PD\lambda_p$$

を連立させて偏波依存波長シフト $PD\lambda_p$ が補償・低減されるように求められた条件によって、位相調整部が形成されていることを特徴とすることが好ましい。

【0021】位相調整部の2本の光導波路それぞれを、コア幅 $W1$ 及びコア幅 $W2$ （ただし $W2 \neq W1$ 、 $W1$ 、 $W2$ の少なくとも一方はコア厚と異なる）で形成して、その形状及び光路長さ等の条件を上記した2つの関係式によって求める方法などによって設定して、偏波依存性を低減するように構成することが可能である。ただし、マッハ・ツェンダー干渉計においても、上記以外の様々な光導波路構成及び条件設定方法が適用可能である。

【0022】さらに、上記したアレイ導波路回折格子型光合分波器及びマッハ・ツェンダー干渉計以外の光回路等の光導波路装置に対しても、それぞれの構成に対して偏波依存性を低減させるコア部の非対称形状等の設定・構成が可能である。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面と共に本発明による光導波路装置の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付

し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0024】まず、平面型光導波路のコア部において生じる複屈折、及びそれに起因する偏波依存性について説明する。

【0025】平面型光導波路のコア部における複屈折性・光学的な異方性は、その光学特性の偏波依存性の原因となる。すなわち、コア部が複屈折性を持つことによって、TE偏波（水平偏波）及びTM偏波（垂直偏波）に対する実効的な屈折率が異なる状態となり、透過波長帯域の中心波長などの光学特性に偏波依存性を生じる。このとき、TE偏波及びTM偏波に対して、WDM回路の中心波長などの光導波路装置の特性波長 λ_c がそれぞれ異なる値 λ_c （TE）及び λ_c （TM）となって、その差による偏波依存波長シフト $PD\lambda = \lambda_c$ （TE） $-\lambda_c$ （TM）を生じてしまう。

【0026】光導波路のコア部における複屈折発生の原因としては、（1）コア部に加わる応力に起因する応力複屈折、及び（2）コア断面形状や屈折率分布などの構造の非対称性に起因する構造複屈折がある。これらに起因する $PD\lambda$ 成分をそれぞれ、応力複屈折による偏波依存波長シフトを $PD\lambda_1$ 、構造複屈折による偏波依存波長シフトを $PD\lambda_2$ とすると、最終的に光導波路に生じる $PD\lambda$ はそれらの和 $PD\lambda = PD\lambda_1 + PD\lambda_2$ となる。

【0027】従来、このような光導波路装置において、基板の変形・反り等によってコア部にかかる応力に起因して複屈折が発生し、中心波長等に偏波依存性を生じることが問題となっている。このような問題について、光導波路に偏波回転器を挿入・設置することが提案されている（特許第2614365号公報参照）。しかしながら、この場合には光回路中に溝を掘って波長板を挿入する必要があるなど、装置構造が複雑化するとともに、コスト高となってしまふ。

【0028】これに対して本願発明者は、上記のように応力による $PD\lambda_1$ と構造による $PD\lambda_2$ とを加えたものが全体としての光導波路の $PD\lambda$ となることを利用し、応力による $PD\lambda_1$ に対して、好適な値の構造による $PD\lambda_2$ を付与するように光導波路のコア部を設計・形成することによって、最終的に得られる導波路の $PD\lambda$ を補償または低減させることが可能であることを見出したものである。

【0029】図1は、本発明による光導波路装置の一実施形態であるアレイ導波路回折格子型光合分波器1（以下、単に光合分波器ともいう）を示す構成図である。

【0030】光合分波器1は、その端部を入出力ポート11とする1本の入出力用チャネル導波路12と、この入出力用チャネル導波路12に接続された第1スラブ導波路13と、この第1スラブ導波路13に接続され各々の光路長が互いに異なる複数のチャネル導波路14₁～

14_Nからなるアレイ導波路部14と、このアレイ導波路部14に接続された第2スラブ導波路15と、この第2スラブ導波路15に接続され、その端部をそれぞれ入出力ポート17₁～17_Nとする複数の入出力用チャネル導波路16₁～16_Nとが、基板10上に形成されたものである。上記したそれぞれの光導波路は、いずれも光の伝送部となるコア部を有して形成されている。

【0031】そして、このアレイ導波路回折格子型光合分波器1は、入出力ポート11から入出力用チャネル導波路12に光が入力すると、第1スラブ導波路13、アレイ導波路部14、及び第2スラブ導波路15を順次に経て導波される間に光が分波され、その分波された各波長の光成分それぞれがN本の入出力用チャネル導波路16₁～16_Nのいずれかを介して入出力ポート17₁～17_Nから出力される。

【0032】また、このアレイ導波路回折格子型光合分波器1は、入出力ポート17₁～17_Nそれぞれに各波長の光を入力すると、第2スラブ導波路15、アレイ導波路部14、第1スラブ導波路13を順次に経て導波される間に光が合波され、その合波された光が入出力用チャネル導波路12を介して入出力ポート11から出力される。すなわち、アレイ導波路回折格子型光合分波器1は、波長多重通信システムにおいて多波長の波長多重信号光を分波する光分波器または合波する光合波器として用いられる。

【0033】このようなアレイ導波路回折格子型光合分波器1の特性は、

$$n \cdot \Delta L = m \cdot \lambda_0 \quad \dots (1)$$

$$B \cdot \Delta L = m \cdot PD \lambda_0 \quad \dots (2)$$

なる式で表される。ここで、nはアレイ導波路部14を構成するM本の各チャネル導波路14₁～14_Nの実効屈折率、 ΔL は各チャネル導波路14₁～14_Nのうち隣り合う2本の光路長さの差、mは回折次数、BはTE偏波に対する実効屈折率n(TE)及びTM偏波に対する実効屈折率n(TM)の差である複屈折係数 $B = n(TE) - n(TM)$ である。

【0034】また、 λ_0 及び $PD \lambda_0$ は、この光合分波器1で合波または分波される光の波長領域の中心波長、及び中心波長の偏波依存性を示す偏波依存波長シフト $PD \lambda_0 = \lambda_0(TE) - \lambda_0(TM)$ であり、この $PD \lambda_0$ は上述したように、 $PD \lambda_0$ (全体) = $PD \lambda_{01}$ (応力) + $PD \lambda_{02}$ (構造)の2成分の和によって与えられる。なお、以下においては、光合分波器1の各光導波路のうち、上記した式(1)、(2)に係するアレイ導波路部14のチャネル導波路14₁～14_Nのコア部での複屈折と $PD \lambda$ について述べる。

【0035】応力に起因した応力複屈折による $PD \lambda_0$ を補償して、上記した光合分波器1における中心波長の全体としての偏波依存波長シフト $PD \lambda_0$ を低減させるための、構造に起因した構造複屈折による $PD \lambda_0$

の付与及びその設定等について説明する。構造複屈折は、チャネル導波路14₁～14_Nのコア部を非対称形状に形成すること、すなわち、コア部の断面形状またはコア内部での屈折率分布に非対称性を持たせることによって与えられる。

【0036】図1に示した光合分波器1のアレイ導波路部14において構造複屈折による $PD \lambda_{02}$ を付与するための一実施例として、導波路のコア断面形状を通常の正形状(コア厚=コア幅)とするのではなく、コア厚とコア幅とが異なる(コア厚≠コア幅)ようにコア部を形成する構成がある。

【0037】図2は、コア幅を固定して、コア厚を変化させたときの構造複屈折による $PD \lambda_{02}$ の変化を示すグラフである。ここで、このコア部を有するチャネル導波路14₁～14_Nからなるアレイ導波路部14などの各光導波路が形成されている基板10はSiO₂基板であるとし、コア部のコア幅=6μmとして、上記の式(2)を用いて $PD \lambda_{02}$ の値を求めている。また、光路長さの差を $\Delta L = 63 \mu m$ 、回折次数を $m = 59$ として設定している。

【0038】このグラフにおいて、コア厚が6μmであるときにはコア厚=コア幅であるので複屈折係数は $B = 0$ であり、したがって $PD \lambda_{02} = 0 nm$ である。また、コア厚を6μmよりも小さくすると $PD \lambda_{02}$ は正の値となり、一方、コア厚を大きくすると $PD \lambda_{02}$ は負の値となっている。

【0039】例えば、コア幅=6μm、コア厚=10μmの非対称断面形状の場合、図2の例では $PD \lambda_{02} = -0.014 nm$ の構造複屈折による $PD \lambda_0$ を生じている。このとき、応力複屈折による $PD \lambda_{01}$ が正の値であれば、この負の値の $PD \lambda_{02}$ によって $PD \lambda_{01}$ の一部または全部が補償されて、全体としての $PD \lambda_0$ の値が低減される。すなわち、コア部のコア幅及びコア厚を、応力複屈折による $PD \lambda_{01}$ を補償する符号または大きさの $PD \lambda_{02}$ を生成するような非対称形状(上記の例ではコア厚≠コア幅)の構造に形成することによって、中心波長の偏波依存性によって生じる $PD \lambda_0$ を補償・低減させることができる。

【0040】構造複屈折による $PD \lambda_{02}$ を付与するための他の実施例として、光合分波器1のアレイ導波路部14において、チャネル導波路14₁～14_Nのそれぞれを、そのコア部がそれぞれ異なるコア幅で形成された複数の導波路部分に区分して形成する構成がある。

【0041】図1の光合分波器1において、アレイ導波路部14を破線で示した区分線Dによって内側の第1アレイ部14aと、外側の第2アレイ部14bとに区分する。ただし、第2アレイ部14bはスラブ導波路13側及びスラブ導波路15側の2つの部分に分割されて、第1アレイ部14aを挟むように形成されている。この第1アレイ部14aに含まれる各チャネル導波路14₁～

14_gの導波路部分と、第2アレイ部14bに含まれる各チャネル導波路14_i～14_hの導波路部分とを、それぞれ異なるコア幅（ただし、コア厚は一定）のコア部によって形成する。ただし、それぞれのアレイ部14a、14b内の各導波路については、コア幅は等しく形成する。

【0042】図3は、図1に示した光合分波器1のアレイ導波路部14のうち、斜線を付した領域Rについて拡大して示す構成図である。この図3中に示されている第m番目のチャネル導波路14_mを例にとると、区分線Dを境界として、第1アレイ部14aに含まれる部分をコア幅W1の導波路部分14a_gとし、第2アレイ部14bに含まれる部分をコア幅W2の導波路部分14b_gとして形成されている。他の各チャネル導波路14_i～14_hについても、各アレイ部14a及び14bに対して同じコア幅W1及びW2で形成されている。

【0043】これらのコア幅W1及びW2は異なる値に設定されており、この各コア幅の設定と、アレイ部14a及び14bの区分設定とによって、アレイ導波路部14での構造複屈折及びそれによるPDλ₂が設定・制御される。なお、区分線D上に位置する導波路部分14a_g及び導波路部分14b_gの接合箇所は、テーパ形状の接合部分14c_gとして形成されている（他の導波路も同様）。

【0044】このとき、アレイ導波路回折格子型光合分波器1の特性についての式（1）、（2）は、以下の2つの関係式、

$$n1 \cdot \Delta L1 + n2 \cdot \Delta L2 = m \cdot \lambda 0 \quad \cdots (3)$$

$$B1 \cdot \Delta L1 + B2 \cdot \Delta L2 = m \cdot PD \lambda 0 \quad \cdots (4)$$

となる。ここで、n1及びn2はアレイ部14a及び14bでの実効屈折率、ΔL1及びΔL2はアレイ部14a及び14bでの隣り合うチャネル導波路の光路長さの差、B1及びB2はアレイ部14a及び14bでの複屈折係数である。すなわち、この式（3）及び（4）は、式（1）及び（2）の左辺をそれぞれ、コア幅W1のアレイ部14aとコア幅W2のアレイ部14bとの和としたものである。

【0045】上記した2つの関係式（3）、（4）を連立させることによって、中心波長などについての必要な諸条件を満たすとともに、PDλ0が補償・低減されるコア幅または光路長さ等の条件が求められる。求められた条件によって各チャネル導波路14_i～14_hの構成を設定してアレイ導波路部14を形成することによって、中心波長λ0の偏波依存性によるPDλ0が低減された光合分波器1が実現される。

【0046】具体的な設定の一例として、コア部の比屈折率差をΔn=0.75%に設定し、コア厚=6μm（一定）に対して第1アレイ部14aでのコア幅をW1=4μm、第2アレイ部14bでのコア幅をW2=6μmとした場合について説明する。このとき、各アレイ部

14a及び14bでの実効屈折率はそれぞれn1=1.4483、n2=1.4500となる。また、TE偏波及びTM偏波に対する実効屈折率の差である複屈折係数は、アレイ部14aに対してはB1=-1.697×10⁻⁵となり、一方、アレイ部14bに対してはコア厚=コア幅=6μmと対称形状であるのでB2=0である。ただし、上記のB1、B2はいずれも構造複屈折のみによる数値であって、応力複屈折の影響を含んでいない。

【0047】これらの数値を式（3）、（4）に代入して、得られる構造複屈折によるPDλ₂の値が、応力複屈折によるPDλ0₁を補償または低減する符号または大きさとなる設定を求める。例えば、中心波長λ0=1550nm、回折次数m=59（回折次数の一例の数値であり、特にこの次数には限定されない）とし、また、応力複屈折によるPDλ0₁=0.1nmであったとする。このとき、構造複屈折によるPDλ0₂=-0.1nmとなるようにアレイ導波路部14を構成することによって、偏波依存性を補償して全体としてのPDλ0をほぼ0とすることができる。

【0048】これらの条件を代入して式（3）、（4）から得られるアレイ部14a及び14bそれぞれについての光路長さの差ΔLは、ΔL1=-346.67μm、ΔL2=410.33μmである。隣り合うチャネル導波路の光路長さの差がこの値になるように各チャネル導波路14_i～14_hの各導波路部分14a_i～14a_h、14b_i～14b_hを形成することによって、応力によるPDλ0₁=0.1nmがコア構造の非対称形状によるPDλ0₂=-0.1nmで補償されたアレイ導波路部14とすることができる。

【0049】このとき、アレイ導波路部14のチャネル導波路の本数M=100本とすると、アレイ導波路部14の全長はおよそ410.33μm×100=41mmとなるので、回路サイズとしても例えば4インチ基板に十分に収まる構造となる。このように、各チャネル導波路14_i～14_hをそれぞれ2つの導波路部分に区分し、それぞれについてコア部の非対称形状及び光路長さを関係式（3）、（4）の連立に基づいて設定することによって、光学特性の偏波依存性が補償・低減されたアレイ導波路回折格子型光合分波器1を得ることができる。

【0050】特に、このように2つの導波路部分に区分することによって、非対称形状の選択に加えて光路長さとの組み合わせによって条件を設定できるので、非対称形状のみによる場合に比べてさらに設計・設定の自由度が高くなり、光導波路の全体を同じ非対称形状とした場合に比べて補償可能な偏波依存性の範囲も広がる。なお、式（3）、（4）の連立による条件設定については、上記した例ではW1、W2を与えてΔL1、ΔL2を求めたが、逆にΔL1、ΔL2を先に与えて好適なW1、W2を求めて設定するなど、他の条件設定方法を用いても良い。

【0051】図4は、本発明による光導波路装置の他の実施形態であるマッハ・ツェンダー干渉計2（以下、単に干渉計ともいう）を示す構成図である。

【0052】干渉計2は、第1入力導波路21及び第2入力導波路22と、第1方向性結合器23と、それぞれ異なる光路長さを有する第1光導波路25及び第2光導波路26からなる位相調整部24と、第2方向性結合器27と、第1出力導波路28及び第2出力導波路29とが、基板20上に形成されたものである。

【0053】図5は、図4に示した干渉計2の位相調整部24について拡大して示す構成図である。この干渉計2においては、位相調整部24の第1光導波路25及び第2光導波路26が互いに異なるコア幅 W_1 及び W_2 によって形成されている。このとき、マッハ・ツェンダー干渉計2の周期状の透過スペクトルの透過率がピークとなるピーク波長 λ_p と、TE偏波に対するピーク波長 λ_p (TE) 及びTM偏波に対するピーク波長 λ_p (TM) の差である偏波依存波長シフト $PD\lambda_p = \lambda_p$ (TE) - λ_p (TM) とは、以下の2つの関係式、

$$n_1 \cdot L_1 - n_2 \cdot L_2 = m \cdot \lambda_p \quad \cdots (5)$$

$$B_1 \cdot L_1 - B_2 \cdot L_2 = m \cdot PD\lambda_p \quad \cdots (6)$$

を満たす。ここで、 n_1 及び n_2 は第1光導波路25及び第2光導波路26での実効屈折率、 L_1 及び L_2 は第1光導波路25及び第2光導波路26の光路長さ、 B_1 及び B_2 は第1光導波路25及び第2光導波路26での複屈折係数、 m は次数（整数）である。

【0054】ピーク波長 λ_p の偏波依存性による $PD\lambda_p$ は、図1に示した光合分波器1での中心波長の $PD\lambda_0$ と同様に、 $PD\lambda_p$ (全体) = $PD\lambda_{p_1}$ (応力) + $PD\lambda_{p_2}$ (構造) の2成分からなる。したがって、第1光導波路25及び第2光導波路26のコア部を互いに異なる形状（少なくとも一方は非対称形状）で形成するとともに、それらの形状及び光路長さ等の条件を式（5）、（6）を連立させて求めることによって、応力複屈折による $PD\lambda_{p_1}$ を構造複屈折による $PD\lambda_{p_2}$ で補償して、全体としての $PD\lambda_p$ が低減されたマッハ・ツェンダー干渉計2とすることが可能である。なお、このようにコア幅を異なる値に設定する部分については、第1光導波路25及び第2光導波路26の全体ではなく、それぞれ対応する一部分としても良い。

【0055】本発明による光導波路装置は、上記したアレイ導波路回折格子型光合分波器及びマッハ・ツェンダー干渉計に限られるものではなく、様々な光回路形状等の導波路パターンに光導波路が形成された光導波路装置に対して適用することができる。

【0056】また、その光導波路のコア部に対して設定される非対称形状については、基板上に形成されたすべての光導波路に対して同様の非対称形状を用いても良いし、上記した例のようにその一部を非対称形状としても良い。また、それぞれ異なる非対称形状を有する複数の

の導波路部分を形成しても良い。

【0057】このような偏波依存性を補償・低減させるための非対称形状等の設定については、それらの非対称形状や、非対称形状とされた導波路部分の光路長さ等の条件を、各光回路での $PD\lambda$ を求める関係式を用いた算出方法やコンピュータ・シミュレーションなどの様々な決定方法によって、応力による $PD\lambda_1$ に対して好適な構造による $PD\lambda_2$ が得られるように設定することができる。

【0058】

【発明の効果】本発明による光導波路装置は、以上詳細に説明したように、次のような効果を得る。すなわち、アレイ導波路回折格子型光合分波器のアレイ導波路部を構成する各チャネル導波路の区分とそれぞれの部分でのコア部形状の設定や、マッハ・ツェンダー干渉計の位相調整部を構成する各光導波路のコア部形状の設定など、光導波路の所定の一部または全部を非対称形状に形成することによって、構造による構造複屈折・光学特性の偏波依存性が付与される。この構造による偏波依存性を、上記した非対称形状の形成条件などの設定によって、あらかじめ知られている（あるいはあらかじめ予測される）応力による偏波依存性に対応するように付与することによって、従来問題となっている光導波路装置での応力による偏波依存性を補償または低減する構成とすることができる。

【0059】この場合、光回路に偏波回転器などの新たな要素を設置・挿入等する必要がないので、装置構造の複雑化が回避されて、製造工程が簡単化されるとともに低コスト化が実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】光導波路装置の一例であるアレイ導波路回折格子型光合分波器の一実施形態を示す構成図である。

【図2】コア幅を固定してコア厚を変化させたときの構造複屈折による $PD\lambda_{0_2}$ の変化を示すグラフである。

【図3】図1に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器を一部拡大して示す構成図である。

【図4】光導波路装置の他の例であるマッハ・ツェンダー干渉計の一実施形態を示す構成図である。

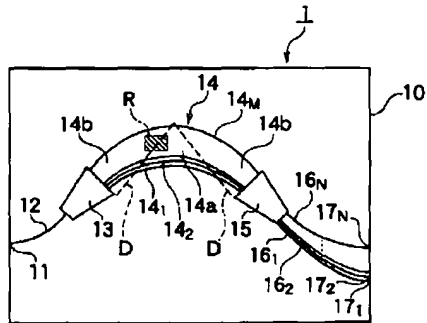
【図5】図4に示したマッハ・ツェンダー干渉計を一部拡大して示す構成図である。

【符号の説明】

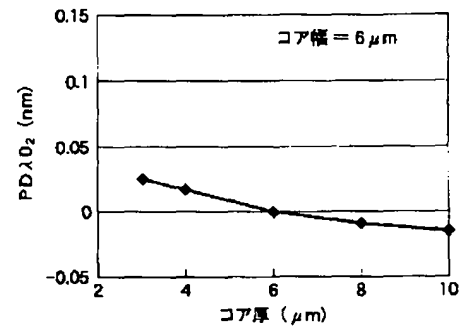
1…アレイ導波路回折格子型光合分波器、10…基板、11…入出力ポート、12…入出力用チャネル導波路、13…第1スラブ導波路、14…アレイ導波路部、14a…第1アレイ部、14b…第2アレイ部、14₁～14_N…チャネル導波路、15…第2スラブ導波路、16₁～16_N…入出力用チャネル導波路、17₁～17_N…入出力ポート、2…マッハ・ツェンダー干渉計、20…基板、21…第1入力導波路、22…第2入力導波路、23…第1方向性結合器、24…位相調整部、25…第1

光導波路、26…第2光導波路、27…第2方向性結合器、28…第1出力導波路、29…第2出力導波路。

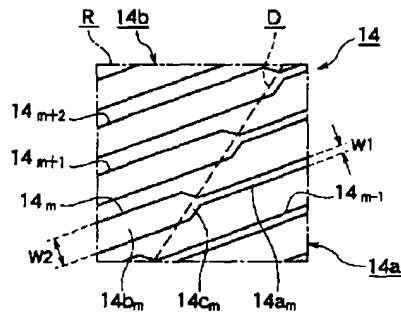
【図1】



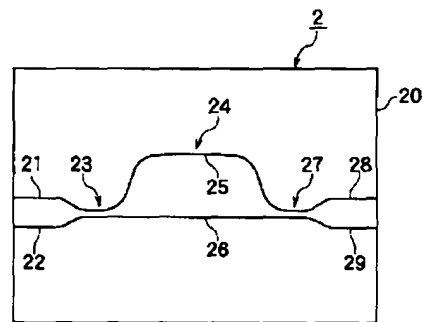
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

